

Perkembangan Kaedah Analisis Hidrokarbon Aromatik Polisiklik Dalam Air Di Kawasan Industri Negeri Sembilan

Siti Norhafiza Mohd Khazaai^{1*}

¹Faculty of Applied Sciences,

Universiti Teknologi MARA, 26400, Bandar Jengka, Pahang Darul Makmur.

*Corresponding author: ctnorhafiza@pahang.uitm.edu.my

Katakunci: PAH, Air, Pengestrakan fasa pepejal

ABSTRAK

Perkembangan kaedah analisis hidrokarbon aromatik polisiklik (Polyaromatic hydrocarbon, PAH) dalam matrik air di kawasan perindustrian telah berjaya dijalankan. Dalam kajian ini, kaedah pengekstrakan yang digunakan bagi matrik air telah dipilih iaitu pengestrakan fasa pepejal. Menerusi kajian sampel paku, didapati nilai peratus dapatan semula bagi matrik air adalah dalam julat 85.8 – 95.3%. Peratusan ini menunjukkan kaedah ini adalah baik. Kajian ini telah dijalankan dengan menggunakan kromatografi gas dengan pengesan pengionan nyala (GC-FID) dengan nilai lengkungan kalibrasi adalah 0.9540 – 0.9981. Kajian yang dijalankan ke atas matrik air terhadap kepekatan sebatian PAH memberikan julat bacaan di antara 0.016 µg/L - 0.031 µg/L. Secara pemerhatian, kawasan yang mengalami taburan sebatian PAH yang bergelang tiga dan empat adalah dari sumber petrogenik dan juga pirogenik yang diperolehi daripada aktiviti manusia atau pun antropogenik di kawasan sekitar. Walau bagaimanapun, tahap pencemar komposisi PAH secara individu dalam matrik air masih di tahap yang tidak membahayakan berdasarkan Interim Water Quality Standards (INWQS).

PENGENALAN

Hidrokarbon aromatik polisiklik (PAH) merupakan satu kumpulan bahan kimia pencemar organik yang mengandungi molekul karbon dan hidrogen. Ia mempunyai dua atau lebih gelang aromatik (benzena) yang mana mempunyai 16 ahli sebatian. PAH juga terdiri daripada lebih 100 jenis bahan kimia yang terdapat meluas di alam sekitar. Ia terhasil apabila batu arang, minyak dan gas, sampah atau bahan seperti tembakau dan daging hangus mengalami pembakaran. Ini juga turut terjadi secara semulajadi seperti pembakaran hutan, gunung berapi dan juga asap daripada kenderaan (Meller et al., 2000).

Apabila ia telah dibebaskan dengan pelbagai kaedah, ia boleh mencemarkan alam sekitar terutamanya pada udara, air dan juga tanah. Kesyukuran dari itu, kita dapat nyatakan bahawa dari alam sekitar yang telah tercemar inilah manusia serta hidupan lain boleh terdedah secara langsung kepada PAH yang boleh memudaratkan kesihatan kerana difahamkan bahawa PAH bersifat toksik, mutagenik serta karsinogenik. Menurut Chen et al. (2006) PAH yang mempunyai empat hingga tujuh gelang mempunyai sifat mutagenik dan karsinogenik yang lebih tinggi sementara bagi PAH yang mempunyai dua hingga tiga gelang adalah kurang mutagenik tetapi tetap mengandungi tahap toksik yang tinggi. Oleh sebab itu, PAH antara bahan yang telah disenaraikan sebagai pencemar utama oleh agensi perlindungan alam sekitar Amerika Syarikat (USEPA). Kajian terhadap status PAH perlu dikaji dengan lebih lanjut.

Kandungan PAH yang tinggi sangat memberi kesan terhadap hidupan. Beberapa kajian yang telah dijalankan mendapati terdapat gangguan dalam proses penetasan telur, tumbesaran, perkembangan dan kelakuan invertebrata akuatik (Fisher dan Foss 1993; Nagarajah et al 1985). PAH turut memberi kesan yang sangat berbahaya terhadap kulit, bendalir badan serta ketahanan untuk melawan penyakit dalam tempoh masa yang pendek ataupun lama bagi haiwan. Ia juga boleh mengakibatkan toksik pada ikan dan burung seterusnya manusia (Albers, 2003; Payne et al. 2003), dengan mengganggu fungsi membran sel dan sistem kesatuan enzim (Neff 1985), metabolisme PAH akan terikat pada protein dan DNA yang mana boleh menyebabkan pemerosotan biokimia dan kerosakan sel dalam haiwan tersebut (Eisler, 2000; Liang et al., 2007).

Berdasarkan pada Data Indeks Kualiti Air Jabatan Pengairan dan Saliran (JPS) Negeri Sembilan didapati sejumlah sembilan batang sungai telah tercemar dengan teruk, 14 batang sungai sederhana tercemar dan tiga batang sungai adalah bersih. Sejak dulu lagi sistem sungai digunakan secara meluas sebagai sistem saluran buangan bagi sisa yang tidak dirawat atau separa dirawat. Di samping itu, rezab sungai juga terdapat aktiviti pertanian, pembinaan bangunan dan penempatan setinggan adalah suatu yang biasa diamalkan. Penggunaan air sungai dan rezab sungai tanpa kawalan bagi pertanian, penempatan, pengorekan pasir, pembinaan jeti dan struktur melintasi sungai telah menyebabkan gangguan terhadap kestabilan saluran sungai, hakisan tebing, halangan terhadap aliran, peningkatan aktiviti operasi dan penyelenggaraan serta kekerapan banjir. Di samping peningkatan penggunaan air bagi pengairan, domestik dan industri ia turut meningkatnya pencemaran dalam aliran masuk ke sungai dan seterusnya menjejaskan kualiti air. Kualiti air terjejas dengan lebih ketara semasa musim kemarau iaitu semasa aliran rendah. Di Malaysia, Negeri Sembilan amnya, kajian mengenai taburan

kepekatan hidrokarbon aromatik polisiklik (PAH) dalam matrik tanah, sedimen dan air di kawasan sungai masih lagi tidak meluas. Kajian-kajian hanya tertumpu pada persekitaran pantai dan matrik sedimen sahaja. Ini adalah penyebab kepada berkurangnya data-data tahap pencemaran oleh PAH di kawasan sekitar Malaysia. Dengan adanya kajian ini, boleh dijadikan sebagai sumber rujukan bagi tahap pencemaran yang melibatkan PAH pada pelbagai jenis matrik. Seperti yang diketahui, penentuan PAH dalam alam sekitar mendapat perhatian global disebabkan sifatnya yang boleh mengancam hidupan sejagat. Oleh sebab itu, objektif bagi kajian ini adalah untuk menentukan aras kandungan hidrokarbon aromatik polisiklik dalam matrik air serta menilai perkaitan tahap pencemaran PAH dengan kawasan persekitaran.

KAEDAH KAJIAN

PENYEDIAAN STOK LARUTAN PIAWAI

Campuran PAH piawai yang mengandungi 12 komponen individu yang disediakan berasingan daripada bentuk pepejal iaitu naphthalena, asenaftilena, asenaftena, fluorena, fenantrena, antrasena, fluorantena, pirena, benzo[a]antrasena, krisena, benzo[a]pirena, dibenzo[a]antrasena dan berkepekatan 0.5 µg/mL yang dicairkan menjadi 10 mL dengan asetonitril.

KROMATOGRAFI GAS DENGAN PENGESAN PENGIONAN NYALA (GC-FID).

Pemisahan gas kromatografi dan pengenalpastian PAH dilaksanakan pada Hewlett 5890 Packard Series II dengan penyuntik 'atas kolum' dan pengesan pengionan nyala. Ciri-ciri kolum yang digunakan ialah 30 m X 0.32 mm I.D X ketebalan filem 0.25 µm, SPB™-5 Kolum Kapilari Silika Leburan digunakan untuk mencapai pemisahan dengan program suhu seperti berikut: Suhu awal kolum, 50 °C selama 2 min, meningkat pada kadar 15 °C min⁻¹ ke 90 °C. Suhu kekal selama 2 min dan peningkatan lagi suhu pada kadar 6 °C ke 300 °C selama 8 min. Suhu pengesan adalah 290 °C. Kuantiti PAH ditentukan dengan menggunakan lima poin kalibrasi plot campuran piawai PAH dan 500 µg/L piawai dalaman (3,6 – dimetilfenantrena). Koeffisien kolerasi yang terhasil adalah $r^2 = 0.9540$ hingga 0.9981 bagi matriks air. 'Clean-up' sampel tidak dijalankan pada ekstrakan analisis.

KAWASAN PERSAMPELAN

Kajian telah dipilih untuk dijalankan di kawasan sungai sekitar kawasan perindustrian Senawang, Negeri Sembilan. Di mana lapan stesen telah dipilih berdasarkan kawasan persekitarannya. Kedudukan setiap lokasi dicatat menggunakan GPS (*Global Positioning System*) dan dinyatakan dalam Jadual 1

Jadual 1: Bacaan kedudukan untuk setiap kawasan kajian

Stesen	Latitud	Longitud	Lokasi
1	02° 47.376 N	102° 00.404 E	Sungai Batang Penar
2	02° 44.754 N	101° 59.506 E	Berhampiran dengan Kilang 'Rubber Conveyor Belt'
3	02° 44.332 N	101° 58.559 E	Berhadapan dengan Kilang 'Malaysian Cocoa Manufacturing'
4	02° 42.776 N	101° 57.219 E	Taman Dusun Nyior 1
5	02° 42.451 N	101° 57.079 E	Kampung Rahang Kecil
6	02° 42.497 N	101° 57.098 E	Kampung Rahang Kecil (Sungai dari Pasar Besar)
7	02° 40.208 N	101° 55.294 E	Sungai Mambau
8	02° 36.438 N	101° 50.563 E	Logi Rawatan Air Sungai Linggi

PERSAMPELAN SAMPEL AIR

Persampelan sampel air, sampel diambil dengan menggunakan timba iaitu bekas takungan air yang diikat dengan tali. Air tersebut diisikan ke dalam botol kaca 1 L dan dirawat dengan 2 mL H_2SO_4 pekat. Ini bertujuan supaya sampel air tersebut kekal sama keadaannya seperti dalam air sungai.

PENGEKSTRAKAN FASA PEPEJAL (SPE)

Penyediaan Sampel Pakuan

Sampel pakuan disediakan dengan menambah campuran PAH piawai ke dalam sampel air nyahion dengan kepekatan yang berbeza iaitu 4 $\mu g/L$ dan 10 $\mu g/L$. Sampel air pakuan yang telah disediakan dengan kepekatan yang berbeza akan diekstrakan dengan menggunakan kaedah pengekstrakan fasa pepejal (SPE). Langkah ini dijalankan adalah bertujuan untuk menentukan tahap keberkesanan kaedah pengekstrakan. Semakin tinggi peratus perolehan semula, semakin baik kaedah pengekstrakan.

Pengkonduksian Turus

Dalam kaedah ini, turus C_{18} yang mempunyai berat 1 g dan bersaiz 6 mL digunakan. Turus dibilas dengan menggunakan 3 mL etil asetat dan turus dibiarkan kering dalam keadaan vakum selama 30 s. Kemudian turus dikonduksikan dengan menggunakan 2 X 5 mL metanol dan diikuti dengan 2 X 5 mL air nyahion. Dipastikan semasa dan selepas proses pengkonduksian ini dijalankan, turus tidak boleh dibiarkan kering.

Kemasukan Sampel

Dipastikan semasa proses ini dijalankan, vakum tidak digunakan. Sebanyak 3 mL sampel air ditambah ke dalam turus. Bekas takungan air 15 mL disambung pada turus dan sampel air akan dilalukan ke dalam bekas takungan tersebut. Sampel air dialirkan dengan kadar aliran 10 mL/min iaitu dengan mengawal jumlah udara masuk dan keluar dari pam vakum. Selepas 500 mL sampel air digunakan, turus dibilas dengan menggunakan 2 X 5 mL air nyahion. Kemudian, turus dibiarkan dalam keadaan vakum selama 30 minit untuk tujuan pengeringan.

Pengelusian Sampel

Kandungan bahan yang terperangkap di dalam turus dielusikan dengan menggunakan 2 X 2.5 mL etil asetat dengan kadar aliran 2 mL/min dan diikuti dengan 2 X 2.5 mL diklorometana. Kemudian, natrium sulfat ditambah untuk memastikan hasil elusi bebas daripada air dan hasil elusi tersebut dituras untuk menyingkirkan natrium sulfat berlebihan. Hasil elusi dibiarkan berada di bawah aliran gas nitrogen sehingga isipadu akhir hasil elusi adalah 1 mL. Kemudian sampel disimpan ke dalam botol sampel kaca sebelum dianalisis dengan menggunakan pengesanan pengionan nyalaan - kromatografi gas (GC-FID). Hasil elusi ini dapat bertahan selama 40 hari selepas proses pengekstrakan

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

PERATUSAN PEROLEHAN SEMULA

Perolehan semula sebatian PAH secara individu ditentukur daripada sampel pakuan air dan sedimen. Merujuk pada Jadual 2, julat peratus perolehan semula menggunakan pengekstrakan fasa pepejal daripada matriks air adalah 85.8 hingga 95.3%, sementara bagi kaedah pengekstrakan soxhlet pula adalah dalam julat 86.2 hingga 103.1%. Kaedah yang sama juga turut dijalankan dalam kajian Cao et al. (2005) dan Chen et al. (2006) bagi matriks air. Kajian perolehan semula dijalankan adalah untuk melihat tahap kecekapan kaedah.

Jadual 2: Senarai Peratusan Perolehan Semula Bagi Kaedah Pengekstrakan Fasa Pepejal

Sebatian PAH	Peratus Perolehan Semula (%)
Naftalena	88.1
Asenaftilena	95.3
Asenaftena	93.0
Fluorena	85.0
Fenantrena	86.4
Fluorantena	91.8
Pirena	92.7
Benzo[a]antrasena	89.9
Krisena	94.4
Benzo[a]pirena	85.5

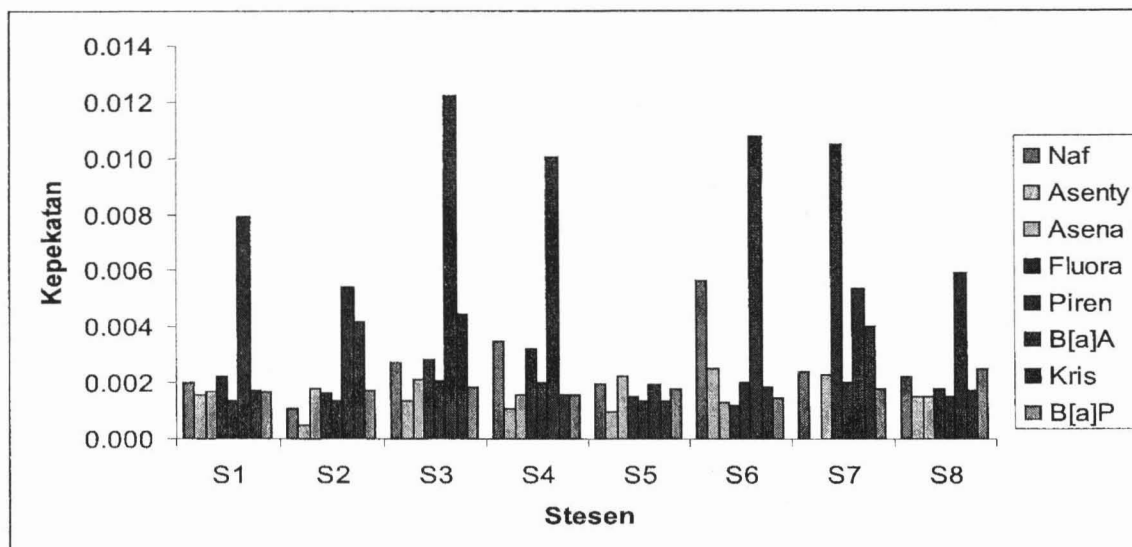
PAH DALAM MATRIKS AIR

Kepekatan secara individu dan jumlah sepuluh jenis sebatian PAH di dalam matriks air bagi lapan kawasan kajian boleh dirujuk pada Jadual 3.

Jadual 3: Purata Kepekatan Sebatian PAH di dalam Matriks Air ($\mu\text{g/L}$)

Sebatian PAH / Stesen	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Naftelena	0.002	0.001	0.003	0.004	0.002	0.006	0.003	0.002
Asenaftilena	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.003	0.000	0.002
Asenaftena	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002	0.003	0.002
Fluorena	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL
Fenantrena	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL
Fluorantena	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.001	0.011	0.002
Pirena	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Benzo[a]antrasena	0.002	0.006	0.012	0.010	0.002	0.011	0.006	0.006
Krisena	0.002	0.004	0.003	0.002	0.002	0.002	0.004	0.002
Benzo[a]pirena	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003
Σ PAH	0.016	0.020	0.029	0.026	0.016	0.029	0.031	0.021

Hanya lapan komponen daripada sepuluh komponen sebatian PAH yang dapat dikesan. Jumlah julat purata kepekatan bagi lapan jenis sebatian PAH di dalam matriks air adalah di antara 0.016 hingga 0.031 $\mu\text{g/L}$ dengan nilai purata adalah 0.022 $\mu\text{g/L}$. Komposisi PAH secara individu, sebanyak lapan komponen sebatian PAH daripada sepuluh komponen sebatian PAH yang dikaji telah dapat dikesan dalam matriks air. Merujuk Rajah 1, taburan komposisi sebatian PAH dalam matriks air dikategorikan mengikut saiz gelang. Ini dapat dilihat dengan jelas bahawa PAH yang mempunyai empat gelang (fluorantena, pirena, benzo[a]antrasena dan krisena) mempunyai nilai kelimpahan yang paling tinggi iaitu dengan julat 0.001 hingga 0.012 $\mu\text{g/L}$ dalam matriks air bagi kesemua kawasan kajian kecuali S5 yang mana sungai tersebut terletak berhampiran kawasan kampung yang hanya menggunakan jalan tar yang kecil. Dengan kata lain, stesen atau kawasan yang kurang dipengaruhi oleh aktiviti manusia menunjukkan jumlah kepekatan PAH yang sangat rendah (Unlu et al., 2005). S7 menunjukkan nilai purata sebatian PAH yang paling tinggi. Sementara bagi PAH lima gelang, iaitu benzo[a]pirena menunjukkan tahap kelimpahan yang paling rendah iaitu 0.002 hingga 0.003 $\mu\text{g/L}$ bagi semua kawasan kajian.



Rajah 1: Purata Kepekatan Sebatian PAH (µg/L) dalam Matriks Air

Maskaoui et al. (2002) menyatakan bahawa bagi PAH yang mengandungi tiga atau lebih gelang adalah mempunyai kelarutan yang rendah di dalam air dan tekanan pengewapan yang rendah. Apabila berat molekul bertambah, kelarutan dan tekanan PAH akan berkurangan. PAH dengan dua gelang adalah lebih larut dalam air dan lebih meruap. Disebabkan sifat itu, benzo[a]pirena dalam kajian ini dapat dilihat mempunyai nilai kepekatan yang paling rendah.

Jadual 4: Ringkasan Aktiviti Yang Dijalankan di Stesen Kajian

Stesen	Aktiviti
S1	Jauh dari penempatan manusia dan kawasan rekreasi
S2	Terdapat beberapa perindustrian yang aktif dijalankan yang mana lebih dimonopoli oleh perusahaan getah.
S3	Berhadapan dengan perusahaan kilang makanan, perhentian bas Transnasional, perusahaan kilang, kilang simen serta beberapa industri lain.
S4	Berhampiran jalan raya utama, kawasan perumahan serta perusahaan makanan.
S5	Berhampiran dengan laluan rel keretapi, kawasan perumahan serta kawasan sekolah.
S6	Kumbahan utama dari pasar basah Seremban serta berhampiran dengan laluan rel keretapi.
S7	Jambatan Mambau, berhampiran jalan raya utama, perusahaan pam minyak, bengkel baikpulih kenderaan bermotor, kawasan perumahan serta perusahaan makanan.
S8	Loji rawatan air Sg. Linggi

Melalui pemerhatian semasa proses persampelan, faktor persekitaran di kawasan kajian mungkin merupakan antara penyumbang utama kepada peningkatan nilai sebatian PAH di dalam matriks air. Seperti contoh S7 yang mempunyai nilai kepekatan sebatian PAH yang paling tinggi adalah berhampiran dengan Jambatan Mambau yang menjadi laluan utama dan seterusnya menyumbang pada pembebasan ekzos kenderaan (Cao et al., 2005), debu jalan juga antara penyumbang utama pencemaran PAH di persekitaran (Jeffery et al., 2005). Turut dilihat bengkel baikpulih kenderaan bermotor turut juga dibina berhampiran sungai. Di situ juga terdapat perusahaan kilang papan yang mana proses pembakaran papan secara terbuka juga merupakan salah satu faktor penyumbang kewujudan PAH.

Berdasarkan pada kajian lalu, terdapat ramai penyelidik yang menyatakan bahawa profil PAH didominasi oleh berat molekul PAH yang rendah (komponen yang mempunyai dua atau tiga gelang) yang terdapat dalam matriks air tetapi bagi kajian ini, sebatian PAH yang mempunyai empat gelang empat lebih mendominasi hasil taburan. Ini mungkin disebabkan pengaruh kawasan persekitaran. Ini turut disokong oleh kajian Ran et al. (2006) yang menyatakan



taburan fluorantena, krisena dan benzo[b,j,k]fluorantena adalah dominasi PAH bagi sumber daripada perindustrian dan juga pencemaran kesesakan jalan raya. Hampir semua kawasan kajian adalah berhampiran dengan jalan raya utama, kawasan kilang, pasar besar, rel keretapi serta perusahaan makanan yang mana mungkin merupakan sumber pirogenik yang biasanya didominasi oleh sebatian PAH bergelang empat, ini turut juga disokong oleh kajian Chen et al. (2006).

Berdasarkan Lampiran 1, analisis statistik ANOVA dua hala tanpa replikasi, memberikan nilai signifikansi pada aras keertian ($p < 0.05$) bagi faktor kepekatan sebatian PAH secara individu. Sementara bagi setiap stesen kajian pula menunjukkan nilai signifikan pada aras keertian ($p > 0.05$) yang mana menyatakan tidak terdapat perbezaan yang ketara di antara setiap stesen. Walaupun begitu, tahap bahan pencemar ini masih berada pada tahap yang rendah berdasarkan pada INWQS (Lampiran 2) bagi kesemua sebatian PAH yang dikaji. Sementara Chen et al (2004) menyatakan jika sebatian PAH yang terkandung di dalam air adalah melebihi $10 \mu\text{g/L}$, air tersebut dikategorikan mengalami pencemar yang teruk oleh PAH. Walaupun keadaan di kawasan kajian masih di tahap yang tidak berbahaya, ia juga perlu diberi perhatian sebagai langkah awal pencegahan pencemaran.

Di samping itu juga, perbandingan secara statistik menggunakan ujian t berpasangan dengan signifikan ditentukan pada 95% aras keyakinan menerusi Lampiran 3, didapati tidak terdapat perbezaan yang nyata di antara setiap stesen kajian terhadap kepekatan sebatian PAH yang mana mungkin diperolehi melalui sumber yang sama.

KESIMPULAN

Melalui kajian yang telah dijalankan, iaitu perkembangan kaedah analisis hidrokarbon aromatik polisiklik di dalam matriks air terhadap kawasan perindustrian Senawang, Negeri Sembilan. Terdapat perkembangan kaedah analisis yang telah dijalankan iaitu kaedah pengekstrakan fasa pepejal bagi matriks air. Peratus perolehan semula sebatian PAH bagi matrik air adalah dalam julat 85.8 – 95.3%. Julat purata kepekatan sebatian PAH di kawasan kajian bagi matriks air adalah di antara $0.016 \mu\text{g/L}$ hingga $0.031 \mu\text{g/L}$. Kaedah analisis yang telah diperkembangkan diguna bagi kajian matriks air yang mana mendatangkan banyak manfaat dan kemudahan dalam menjalankan kajian dari segi penggunaan masa serta kuantiti bahan pelarut yang digunakan. Daripada peratusan perolehan semula dapat dilihat bahawa kaedah ini boleh dikategorikan sebagai kaedah yang baik serta boleh digunapakai. Perkaitan antara kawasan dan aktiviti persekitaran dengan tahap kepekatan sebatian PAH diperhatikan dan disimpulkan bahawa terdapat dua sumber pirogenik dan petrogenik yang menjadi penyumbang utama bagi tahap pencemaran sebatian PAH. Walaupun begitu, tahap pencemaran di kesemua kawasan kajian masih berada pada takat yang selamat dan tidak terancam berdasarkan pada INQWS dan INTERIM. Biarpun begitu, langkah pencegahan awal perlu dititik beratkan bagi membendung gejala pencemaran yang lebih teruk daripada berlaku.

RUJUKAN

- Albers, P.H., 2003. *Petroleum and individual polycyclic aromatic hydrocarbons*. In: Hoffman, D.J., Rattner, B.A., Burton, Jr., G.A., Cairns, Jr., J. (Eds.), *Handbook of Ecotoxicology*, 2nd ed. Lewis, Boca Raton, FL, pp. 341–371.
- Cao, Z., Wang, Y., Mab, Y., Xua, Z., Shi, G., Zhuang, Y. & Zhua, T. 2005. Occurrence and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in reclaimed water and surface water of Tianjin, China. *Journal of Hazardous Materials*. 20, 419-422
- Chen, B., Xuan, X., Zhu, L., Wang, J., Gao, Y., Yang, K., Shen, X. & Lou, B. 2004. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface water, sediment and soils of Hangzhou City, China. *Water Research*. 18, 723-730
- Eisler, R., 2000. *Handbook of Chemical Risk Assessment*, vol. 2. Lewis, Boca Raton, FL. 413–415
- Fisher, W. S & Foss, S. S. 1993. A simple test for the toxicity of number two fuel oil and oil dispersants to embryos of grass shrimp, *Palaemonetes pugio*. *Marine Pollution Bulletin*. 12, 253-259
- Maskaoui, K., Zhou, J. L., Hong, H. S. & Zhang, Z. L. 2002. Contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Jiulong River Estuary and Western Xiamen Sea, China. *Environment Pollution*. 49, 2844–2847
- Nagarajah, N., Sophia, A. J. A & Balasubramanian, T. 1985. Behavior of some invertebrate molluscs exposed to water soluble fractions of diesel. *Marine Pollution Bulletin*. 113, 313-319
- Neff, J.M., 1985. *Polycyclic aromatic hydrocarbons*. In: Rand, G.M., Petrocilli, S.R. (Eds.), *Fundamentals of Aquatic Toxicology*. Hemisphere, New York. pp. 156–161.
- Payne, J.F., Mathieu, A. & Collier, T.K. 2003. *Ecotoxicological studies focusing on marine and freshwater fish*. In: Douben, P.E.T. (Ed.), *PAHs: An Ecotoxicological Perspective*. Wiley, UK. 71, 1001-1010
- Ran, Y., Sun, K., Ma, X., Wang, G., Grathwohl, P. & Zeng, D. Y. 2006. Effect of condensed organic matter on solvent extraction and aqueous leaching of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils and sediments *Environmental Pollution*. 185-198
- Unlu, S. & Alpar, B. 2005. Distribution and sources of hydrocarbons in surface sediments of Gemlik Bay (Marmara Sea, Turkey). *Chemosphere* 54, 137–140
- Chen Yuyun, Zhu, L. & Zhou, R. 2006. Characterization and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon in surface water and sediment from Qiantang River, China. *Journal Of Hazardous Materials*. 19, 854-861

LAMPIRAN 1

Analisis ANOVA dua hala tanpa replikasi bagi sebatian PAH dalam matrik air.

Rumusan	Bilangan	Jumlah	Purata	Varian
Naftelena	8	0.0215	0.0027	1.8991E-06
Asenaftilena	8	0.0100	0.0012	6.2960E-07
Asenaftena	8	0.0148	0.0019	1.3786E-07
Fluorena	8	0.0247	0.0031	9.4328E-06
Pirena	8	0.0143	0.0018	1.0210E-07
Benzo[a]A	8	0.0537	0.0067	1.5222E-05
Krisena	8	0.0212	0.0026	1.7482E-06
Benzo[a]P	8	0.0147	0.0018	1.0125E-07
S1	8	0.0160	0.0020	0.0000E+00
S2	8	0.0178	0.0022	2.8636E-06
S3	8	0.0295	0.0037	1.2693E-05
S4	8	0.0245	0.0031	8.6970E-06
S5	8	0.0132	0.0016	1.6960E-07
S6	8	0.0267	0.0033	1.1040E-05
S7	8	0.0284	0.0035	1.0385E-05
S8	8	0.0187	0.0023	2.2107E-06

ANOVA

Sumber Varian	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sebatian PAH (T)	0.00016	7	2.3569E-05	6.7371	1.3285E-05	2.2032
Stesen (B)	0.00003	7	4.7834E-06	1.3673	2.4030E-01	2.2032
Sisihan	0.00017	49	3.4985E-06			
Jumlah	0.00037	63				

H_{T0} : Tiada perbezaan yang jelas antara sebatian PAH dalam air.

H_{T1} : Ada perbezaan yang jelas antara sebatian PAH dalam air.

H_{B0} : Tiada perbezaan yang jelas antara stesen kajian.

H_{B1} : Ada perbezaan yang jelas antara stesen kajian.

Kesimpulan : T - Terdapat perbezaan yang jelas antara sebatian PAH dalam air
 B – Tiada perbezaan yang jelas antara stesen kajian

LAMPIRAN 2

Jadual A Garis Panduan Kualiti Air untuk Perlindungan Hidupan Akuatik Interim

Parameter (HAP)	Air Tawar	
	Kepekatan ($\mu\text{g/L}$)	Tarikh
Asenaftena	5.8 ^c	1999
Antrasena	0.012 ^c	1999
Benzo[a]antrasena	0.018 ^c	1999
Benzo[a]pirena	0.015 ^c	1999
Krisena	Data tidak mencukupi	1999
Fluorantena	0.04 ^c	1999
Fluorena	3.0 ^c	1999
Nafthalena	1.1 ^c	1999
Fenantrena	0.4 ^c	1999
Pirena	0.025 ^c	1999

LAMPIRAN 3

Jadual Analisis Statistik Ujian t Berpasangan Bagi Matriks Air

Pasangan Stesen	t	Signifikasi (2-hujung)
S1 – S2	-0.475	0.649
S2 – S3	-1.629	0.147
S3 – S4	1.000	0.351
S4 – S5	1.722	0.129
S5 – S6	-1.451	0.190
S6 – S7	-0.720	0.944
S7 – S8	0.711	0.500
S1 – S8	-1.256	0.250